4. 상태를 고려한 자료해석

은근히 질량보존과 더불어 한번 보이지 않으면 끝없이 말릴 위험이 있는 유형이다. 일반적으로 양론에서 기본적으로 사용되는 아보가드로 법칙을 비롯한 대부분의 논리들이 '기체' 에 한정되어 사용되는 논리이다. 하지만 문제의 주어진 상황에서 고체나 액체가 함께 존재할 경우나 주어진 자료가 '실린더 내 기체의 밀도' 등의 형태일 때, 우리가 흔히 사용하는 아보가드로 법칙 등의 논리들을 기체로 한정하여 적용해주어야 하지만 관성으로 인해 고체, 액체, 기체를 구별하지 않고 무분별하게 사용할 경우 말리게 될 것이다.

20학년도 수능 19번

다음은 A(s)와 B(g)가 반응하여 C(g)를 생성하는 반응의 화학 반응식이다.

$$\mathrm{A}(s) + b\,\mathrm{B}(g) \rightarrow \mathrm{C}(g) \quad (b : \text{반응 계수})$$

표는 실린더에 A(s)와 B(g)의 몰수를 달리하여 넣고 반응을 완결시킨 실험 Ⅰ, Ⅱ에 대한 자료이다. $\dfrac{\text{B의 분자량}}{\text{C의 분자량}} = \dfrac{1}{16}$이다.

실험	넣어준 물질의 몰수(몰)		실린더 속 기체의 밀도(상댓값)	
	A(s)	B(g)	반응 전	반응 후
Ⅰ	2	7	1	7
Ⅱ	3	8	1	x

$b \times x$는? (단, 기체의 온도와 압력은 일정하다.)

① 15 ② 20 ③ 21 ④ 24 ⑤ 32

0) 반응을 해석하기에 앞서 A 물질이 g(기체)가 아니라 s(고체)임을 파악하여야 한다.

1) 한계 반응물을 찾아보자. 우선 B(g)이 한계 반응물이라고 가정해보자.

〈실험 Ⅰ〉 (질량)

$$\begin{array}{ccc} \mathrm{A}(s) & +\,b\mathrm{B}(g) \rightarrow & \mathrm{C}(g) \\ 2 & 7 & 0 \\ -\dfrac{7}{b} & -7 & +\dfrac{7}{b} \\ \hline 2-\dfrac{7}{b} & 0 & \dfrac{7}{b} \end{array}$$

$V \propto n$ 이고 $d = \frac{\mathrm{w}}{\mathrm{V}}$ 임을 통해 실린더 속 기체의 반응 전후 밀도는 $\frac{(7\times1)}{7\mathrm{L}} : \frac{(\frac{7}{\mathrm{b}}\times16)}{\frac{7}{\mathrm{b}}\mathrm{L}} = 1 : 16$

이므로 조건의 $1 : 7$에 위배된다.
따라서 실험 Ⅰ 에서의 한계반응물은 A 이고 반응식을 세우면 다음과 같다.

〈실험 Ⅰ〉 (질량)

$$\begin{array}{ccc} \mathrm{A}(s) & +\,b\mathrm{B}(g) \rightarrow & \mathrm{C}(g) \\ 2 & 7 & 0 \\ -2 & -2b & +2 \\ \hline 0 & 7-2b & +2 \end{array}$$

실험 전후의 밀도를 비교해보면 $\frac{(7\times1)}{7\mathrm{L}} : \frac{(7-2\mathrm{b})\times1+(2\times16)}{(7-2\mathrm{b})+2} = 1 : 7$ 식을 풀면 $b=2$ 임을 구할 수 있다.

2) 이를 바탕으로 Ⅱ의 반응을 해석해보자.

〈실험 Ⅱ〉 (질량)

$$\begin{array}{ccc} \mathrm{A}(s) & +\,2\mathrm{B}(g) \rightarrow & \mathrm{C}(g) \\ 3 & 8 & 0 \\ -3 & -6 & +3 \\ \hline 0 & 2 & 3 \end{array}$$

의 결과가 나온다. 실린더 속 기체의 밀도를 구하면 $\frac{(8\times1)}{8\mathrm{L}} : \frac{(2\times1)+(3\times16)}{(2+3)\mathrm{L}} = 1 : x$이므로 $x=10$이다.

3) $b=2$, $x=10$이므로 $b\times x=20$이다.

5. 반응 계수와 그래프 해석

주입형 : 조금씩 계속해서 물질을 넣어주어 반응하는 경우

이 유형은 두가지 case 로 나뉜다.

$\mathrm{aA(g)+bB(g)\rightarrow cC(g)}$ 를 반응식으로 가지며, $\mathrm{A(g)}$가 들어 있는 실린더에 $\mathrm{B(g)}$를 넣는다고 가정하자. (반대의 상황의 경우 아래의 논리를 반대로 적용하면 된다.) (생성물이 두 개 이상인 경우에는 생성물들의 계수를 합친 값이 c에 해당한다고 생각하면 된다.)

(1) 반응 완결 이전의 상황

B가 한계 반응물인 지점까지는 B를 넣어주자마자 없어지므로 B는 기체의 양에 포함되지 않는다.
따라서 A와 C의 양으로만 기체의 양 변화를 생각해준다.

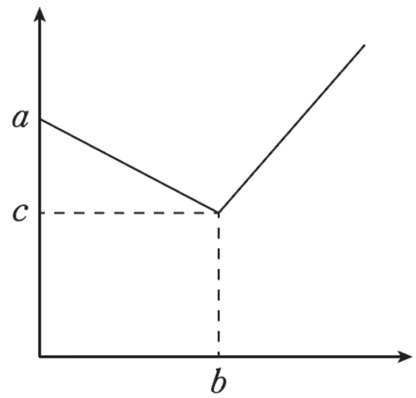
a > c : 전체 기체의 양 & 기체의 부피가 감소한다.
a = c : 전체 기체의 양 & 기체의 부피가 일정하다.
a < c : 전체 기체의 양 & 기체의 부피가 증가한다.

* 간단하게 생각하면 $a > c$ 이면 많이 줄어들고 적게 생성되기 때문에 기체의 양이 감소한다고 생각하고 $a < c$이면 적게 줄어들고 많이 생성되므로 기체의 양이 증가된다고 생각하면 편하다.

(2) 반응 황완결 이후의 상

A가 한계 반응물이므로 B를 더 넣어줘도 반응은 더 이상 일어나지 않기 때문에 넣어주는 B는 그대로 남아서, 넣어준 B의 양만큼 기체의 양과 부피가 증가한다.

이를 통하여 〈주입형〉의 경우 그래프들의 기울기를 통하여 계수를 추론 가능하다. 아래의 그림을 참조하도록 하자.



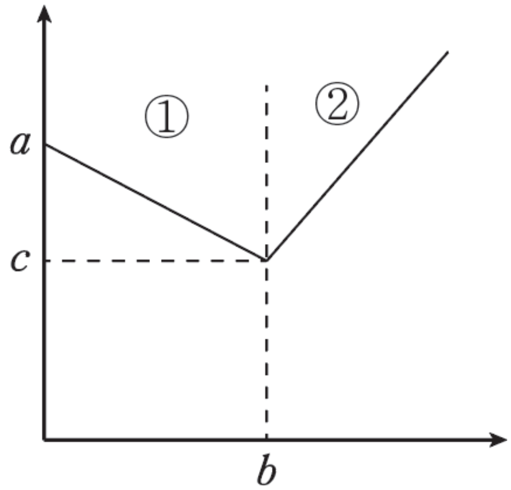
반응 완결전 그래프의 기울기 : $\frac{c-a}{b}$

반응 완결후 그래프의 기울기 : 1($\frac{b}{b}$)(반응하지 않으므로 넣어준 만큼 그대로 몰수가 증가한다.)

처음 부피 : 완결점의 부피 = $a : c$

Tip

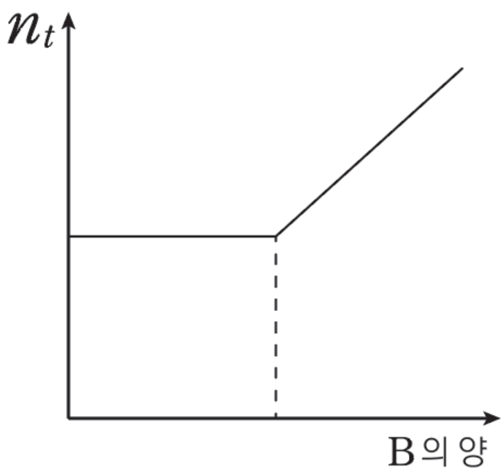
완결 이후의 기울기를 1이라고 가정하고, 둘 간의 상대적인 기울기를 비교하였을 때 완결 이후의 기울기를 $\frac{c-a}{b}$라고 잡은 후 반응계수를 구하는 방향으로 문제 푸는 것이 좋습니다.
또한 위의 그래프에서 표현한 바와 같이 처음 부피와 완결점의 부피가 a:c의 비율을 가진다는 사실 또한 문제에서 자주 사용되는 논리이니 꼭 적립하시고 가면 좋겠습니다.



반응 완결전인 ① 지점에서의 기울기인 $c-a$ 가 음수이다. $c-a<0$이므로 $c<a$ 임을 알 수 있다.

반응 완결전인 ① 지점에서의 기울기와 반응 완결후인 ② 지점에서의 기울기를 비교해 보자.

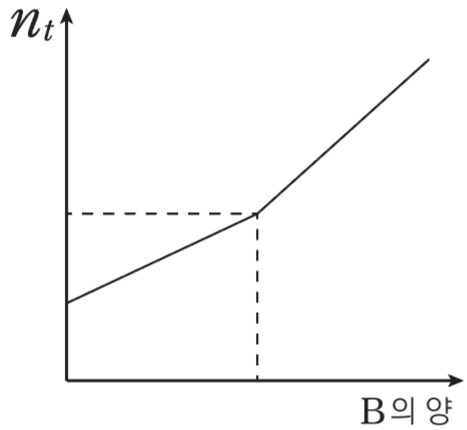
$c-a<b$ 이므로 $a+b>c$ 임을 알 수 있다.



반응 완결전인 ① 지점에서의 기울기인 $c-a$ 가 0이다. $c-a=0$이므로 $a=c$ 임을 알 수 있다.

반응 완결전인 ① 지점에서의 기울기와 반응 완결후인 ② 지점에서의 기울기를 비교해 보자.

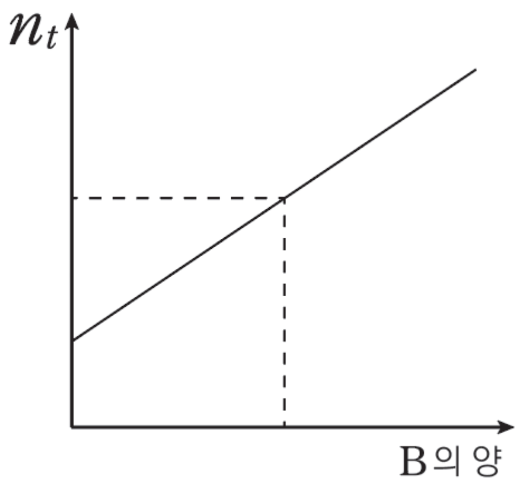
0=$c-a<b$ 이므로 $a+b>c$ 임을 알 수 있다.



반응 완결전인 ① 지점에서의 기울기인 $c-a$ 가 양수이다. $c-a>0$이므로 $c>a$ 임을 알 수 있다.

반응 완결전인 ① 지점에서의 기울기와 반응 완결후인 ② 지점에서의 기울기를 비교해 보자.

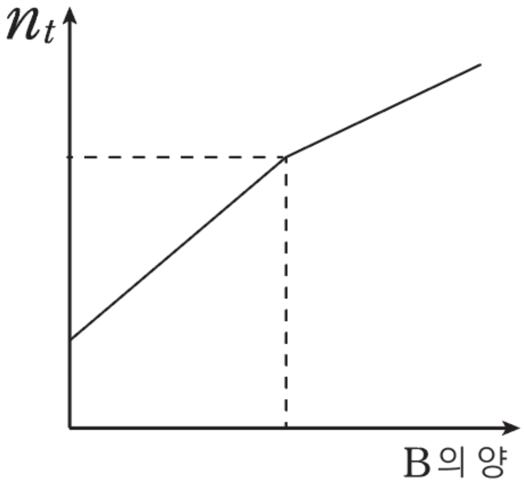
$c-a<b$ 이므로 $a+b>c$ 임을 알 수 있다.



반응 완결전인 ① 지점에서의 기울기인 $c-a$ 가 양수이다. $c-a>0$이므로 $c>a$ 임을 알 수 있다.

반응 완결전인 ① 지점에서의 기울기와 반응 완결후인 ② 지점에서의 기울기를 비교해 보자.

$c-a=b$ 이므로 $a+b=c$ 임을 알 수 있다.



반응 완결전인 ① 지점에서의 기울기인 $c-a$ 가 양수이다. $c-a>0$이므로 $c>a$ 임을 알 수 있다.

반응 완결전인 ① 지점에서의 기울기와 반응 완결후인 ② 지점에서의 기울기를 비교해 보자.

$c-a>b$ 이므로 $a+b<c$ 임을 알 수 있다.

혼합형 : 한꺼번에 부워서 반응하는 경우

$$aA(g)+bB(g)\rightarrow cC(g)$$

a+b〉c : 전체 기제의 양 & 기체의 부피가 감소한다.
a+b=c : 전체 기체의 양 & 기체의 부피가 일정하다.
a+b〈c : 전체 기체의 양 & 기체의 부피가 증가한다.

반응물과 생성물이 모두 기체일 경우 계수의 비교에 따라서 밀도의 변화를 알 수 있다. 예를 들어 a+b〈c인 경우에 전체 기체의 양 & 기체의 부피가 증가하면 질량은 반응 중에 일정하기 때문에 밀도는 자연스레 감소한다는 논리로 연결 시킬 수 있다.

Tip

반응계수 논리에 대해 기출을 기준으로 이야기하자면 실제로 $aA+bB\rightarrow cC(c<3)$ 인 경우 반응계수는 자연수라는 조건에 의거하여 $c=1\,or\,c=2$ 이며, 둘을 실제 대입하여 해봄으로써 한 가지 경우에 모순이 나오는 논리로 계수를 결정하라는 문제가 출제된 적이 있다. 하지만 $c=1\,or\,c=2$과 같이 둘 중 하나를 고르는 문제가 아니라 그 이상의 경우의 수를 직접 해봐야하는 문제는 출제 되지 않았으므로 경우의 수가 3가지 이상 나오는 경우에는 내가 문제를 풀면서 놓친 조건이 있나를 다시 한번 돌아보시는걸 추천드립니다.

6. 밀도 자료 해석

밀도 자료 해석은 크게 두가지로 나뉜다. 정의에 입각한 풀이와, 분자량을 활용한 풀이가 있다. 우선 메인 풀이는 무조건 '정의'로 가야한다는 입장이다. 분자량 풀이도 쉽고 빠르게 풀어낼 수 있지만 사용할 수 있는 상황들이 한정되어 있기 때문에 특정한 상황이 아니면 사용할 수 없다. 보편적으로 모든 문제에서 적용할 수 있는 풀이는 정의를 기반으로 한 풀이이며, 이는 밀도$=\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$를 사용하는 일반적인 계산으로 밀고 나가는 풀이다. 분자량으로 풀이할 수 있는 것은 무조건 정의로 풀이할 수 있으므로 정의 풀이는 여러분들의 가장 밑바탕에 깔려 있어야 하는 풀이이며, 이를 완벽히 마스터한 후 속도를 줄이기 위한 방편으로 분자량 풀이를 스킬의 형태로 첨가하시는 것이 바람직하다.

정의 풀이를 하는 방법은 당연하게도 밀도$=\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$로 해석하는 것이 전부이다.

밀도 자료 해석을 분자량으로 하는 논리에 대해 설명하자면, 앞서 2단원에서 $\mathrm{PV}=nRT$식을 간단하게 설명한 적이 있다. 이 때, $n=\frac{\mathrm{w}}{\mathrm{M}}$을 대입하면 $\mathrm{PVM}=w\mathrm{RT}$ 이며 양변에 V를 나누어 주면 $\mathrm{PM}=\frac{w}{\mathrm{V}}RT$ 임을 알 수 있고 $\frac{w}{\mathrm{V}}=d$(밀도) 이므로 위 식을 정리하면 $\mathrm{PM}=dRT$ 임을 알 수 있다. R은 상수이므로 압력과 온도가 일정하다면, $\mathrm{M}\propto d$의 식을 도출해 낼수 있다.

다음으로는 분자량 풀이를 사용할 수 있는 상황에 대해서 이야기 하겠다.

첫째로, 위에서 증명하였듯이 압력과 온도가 일정해야 한다.
둘째, 단일 기체여야 효율적이다.

Tip

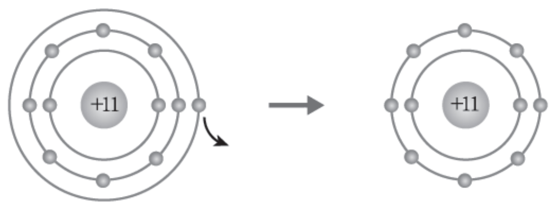
물론, 단일 기체가 아닌 혼합기체이더라도 풀이를 할 수는 있습니다. 내분 논리를 사용하여 $\mathrm{M}\propto d$로 끌고 갈 수 있긴 하지만 혼합기체에서 내분을 써가면서 계산을 하는 것보다 혼합기체의 경우에는 처음 소개했던 정의에 입각한 풀이가 더 효율적이라 생각하기 때문에 단일 기체일 때 위주로 $\mathrm{M}\propto d$ 논리를 사용하시길 추천드리긴하지만, 이 역시 개인마다의 취향차이 이므로 수험생분들의 손에 더 잘 익는 사용하시길 바랍니다. 또한, 앞으로 출제가 어떤 방식으로 될지는 모르고, 수험생 여러분께서 취사선택할 수 있는 선택지의 폭을 넓혀드리는 것이 좋다고 생각하여 내분을 이용한 분자량/밀도 논리 역시 소개 드리겠습니다.
저희가 앞의 단원에서 '동위원소'에 대해 배운적이 있습니다. 그 때를 잘 떠올려 보시면 좋을 것 같습니다. 동위원소에서 해당 동위원소가 차지하는 비율값을 바탕으로 내분을 통하여 '평균 원자량'을 구해냈습니다. 똑같은 원리로 여러 가지 기체가 혼합되어 있는 혼합기체에서의 비율값과 화학식량을 통하여 '평균 화학식량' 혹은 '평균 밀도값'을 구해낼 수 있습니다.
예를 들어, A(2) 인 기체와 B(8) 인 기체가 1:2 의 비율로 존재한다고 할 때 해당 상황에서의 평균 분자량은 $\frac{(1\times2)+(2\times8)}{2+1}=6$임을 구해낼 수 있습니다.(기체의 존재비가 1:2 이니까 2:1 로 내분하는 것은 앞에 동위원소 단원에서 설명하였으니 참고하시길 바랍니다.)

이온의 전자 배치

1. 양이온의 전자 배치

원자가 가장 바깥 전자 껍질의 전자를 모두 잃고 양이온이 되면 전자 배치가 비활성 기체의 전자 배치와 같아진다.

[양이온]



Na $1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^1$ → Na^+ $1s^2\ 2s^2 2p^6$

2. 음이온의 전자 배치

원자가 전자를 얻어 가장 바깥 전자 껍질의 전자가 8개인 음이온이 되면 전자 배치가 비활성 기체의 전자 배치와 같아진다.

[음이온]

F $1s^2\ 2s^2 2p^5$ → F^- $1s^2\ 2s^2 2p^6$

(1) 자주 출제 되는 표현들

❶ 홀전자수

1족	2족	13족	14족	15족	16족	17족	18족
1	0	1	2	3	2	1	0

❷ 전자가 들어 있는 오비탈 수

	1족	2족	13족	14족	15족	16족	17족	18족
2주기	2	2	3	4	5	5	5	5
3주기	6	6	7	8	9	9	9	9

❸ $\dfrac{p \text{ 오비탈에 들어 있는 전자 수}}{s \text{ 오비탈에 들어 있는 전자 수}}$

	1족	2족	13족	14족	15족	16족	17족	18족
2주기	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{6}{4}$
3주기	$\frac{6}{5}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{7}{6}$	$\frac{8}{6}$	$\frac{9}{6}$	$\frac{10}{6}$	$\frac{11}{6}$	$\frac{12}{6}$

$\dfrac{p \text{ 오비탈에 들어 있는 전자 수}}{s \text{ 오비탈에 들어 있는 전자 수}}=1$: 산소(O), 마그네슘(Mg)

$\dfrac{p \text{ 오비탈에 들어 있는 전자 수}}{s \text{ 오비탈에 들어 있는 전자 수}}=1.5$: 네온(Ne), 인(P)

❹ $\dfrac{\text{전자가 들어 있는 } p\text{오비탈 수}}{\text{전자가 들어 있는 } s\text{오비탈 수}}$

	1족	2족	13족	14족	15족	16족	17족	18족
2주기	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$
3주기	$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{6}{3}$	$\frac{6}{3}$	$\frac{6}{3}$	$\frac{6}{3}$

$\dfrac{\text{전자가 들어 있는 } p\text{오비탈 수}}{\text{전자가 들어 있는 } s\text{오비탈 수}}=1$: C Na Mg

$\dfrac{\text{전자가 들어 있는 } p\text{오비탈 수}}{\text{전자가 들어 있는 } s\text{오비탈 수}}=1.5$: N O F Ne K Ca

❻ 전자가 모두 채워진 오비탈수 (=전자쌍이 들어 있는 오비탈 수)

	1족	2족	13족	14족	15족	16족	17족	18족
2주기	1	2	2	2	2	3	4	5
3주기	5	6	6	6	6	7	8	9

Caution

위에서 보이듯이 오비탈수, 오비탈에 들어 있는 전자수, 오비탈에 들어있는 전자쌍 수 등 비슷해 보이는 표현들이지만 각각 의미하는 것이 다르므로 표현들을 유의하여 파악해야 합니다.

❼ 양자수 관련 표현

$n+l=2$: $2s$

$n+l=3$: $2p$, $3s$

$n+l=4$: $3p$, $4s$

Routine

최근에 출제되는 오비탈 관련 준킬러 유형에서는 몇가지 조건들을 통하여 오비탈의 양자수를 추론하는 형태의 문제가 자주 출제되는데, 저는 개인적으로 해당 유형의 문제풀이를 할 때 정보들을 구하며 오비탈 정보를 나열할 때/를 사용하는 편입니다. $\mathrm{n}/\mathrm{p}/m_l/m_s$ 순으로 네가지 항목들을 순서대로 배열하게 되면 문제에서 $n+l$, $n-l$등 양자수를 이용한 자료들을 출제할 때 가시적으로 대응할 수 있기 때문입니다. 이 부분은 여러분들만의 방법이 있으시다면 자유롭게 선택하시길 바랍니다. (제 경험상 $\mathrm{n}/\mathrm{p}/m_l$만을 요구하는 문제가 대다수였으므로 m_s가 문제풀이에 필요 없을 경우에는 $\mathrm{n}/\mathrm{p}/m_l$까지만 배열하기도 합니다.)

아래의 표들을 보며 눈에 익혀 두도록하면 문제풀이에서의 감각을 끌어올릴 수 있을 것이다.

2주기	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
원자번호	3	4	5	6	7	8	9	10
홀전자 수	1	0	1	2	3	2	1	0
s 오비탈 전자 수	3	4	4	4	4	4	4	4
p 오비탈 전자 수	0	0	1	2	3	4	5	6
오비탈 수	2	2	3	4	5	5	5	5
s 오비탈 수	2	2	2	2	2	2	2	2
p 오비탈 수	0	0	1	2	3	3	3	3

3주기	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
원자번호	11	12	13	14	15	16	17	18
홀전자 수	1	0	1	2	3	2	1	0
s 오비탈 전자 수	5	6	6	6	6	6	6	6
p 오비탈 전자 수	6	6	7	8	9	10	11	12
오비탈 수	6	6	7	8	9	9	9	9
s 오비탈 수	3	3	3	3	3	3	3	3
p 오비탈 수	3	3	4	5	6	6	6	6

Caution

그리고 우려되는 점이 있어서 마지막으로 제안을 드립니다. 여러분들이 치게 되는 모의고사, 6, 9월 및 수능에서 위에 소개했던 '자주 출제되는 표현들'이 출제될 수도 있습니다만, 반대로 한번도 출제 되지 않는 '새로운 표현'들이 출제될 가능성도 충분히 높습니다. 그러니 '새로운 표현'들이 출제되었다면 당황하지 마시고 제발 **직접 써서** 문제에 제시된 자료들을 해석하시길 바랍니다. 유독 이 단원에서 몇몇 학생들이 오만하게 '나는 머리로 풀 수 있어' 하고 자료들을 머리 속으로만 떠올리는 학생들이 있는데, 물론 머리로만 풀수도 있겠지만, 위험요소들을 최대한 없애고 정확하게 풀기 위해서는 조금 시간이 걸리더라도 '시간을 버린다'고 생각하지 말고 '시간을 투자한다' 라고 생각하며 직접 써서 자료를 해석하시길 부탁드립니다. (물론, 자주 보셔서 익숙한 자료들은 머릿속으로만 푸시든, 써서 푸시든 취사선택 하시면 됩니다.)